

LES MIRAGES GRAVITATIONNELS ( 3 ans après)

De par l'objet même de son étude, l'Astronomie est une science naturelle astreinte à une méthodologie bien particulière. En effet, les astronomes ne peuvent, contrairement à leurs collègues physiciens ou biologistes, changer à leur guise les paramètres d'une *expérience*. Ils ne font que des *observations* au sens strict, c'est-à-dire qu'ils sont contraints d'observer les objets célestes là où ils sont et tels qu'ils se présentent à eux. D'où leur souci de diversifier leurs canaux d'information en couvrant la plus large gamme possible du spectre électromagnétique: lumière visible, bien sûr, mais aussi radio, infra-rouge, rayons X et  $\gamma$ . D'où également leur acharnement sur certains "objets-clés" susceptibles de donner la réponse à une question précise.

Il y a maintenant 3 ans, la découverte d'un de ces précieux objets a soulevé l'espoir de régler élégamment un vieux problème.

Vers 1920, les observations de l'américain Hubble ont montré que les galaxies s'éloignent les unes des autres avec une vitesse proportionnelle à leur distance. On a la relation:

$$v = H_0 \cdot d$$

où  $v$  est la vitesse de fuite (mesurée par le décalage du spectre de la galaxie), la constante de proportionnalité  $H_0$  est appelée constante de Hubble, et  $d$  est la distance de la galaxie observée.

Ces faits s'interprètent immédiatement dans le cadre des théories cosmologiques relativistes. Celles-ci prévoient un Univers non statique, en expansion ou en contraction, et  $H_0$  mesure simplement le rythme actuel de l'expansion. C'est un paramètre dont la valeur numérique est d'une grande importance. Il permet de trouver un ordre de grandeur de l'âge de l'Univers (durée écoulée depuis l'époque du début de l'expansion) et, joint à d'autres observations, de choisir, parmi les différents modèles cosmologiques possibles, celui qui s'applique le mieux à l'Univers réel.

Or, il faut bien constater qu'après plus d'un demi siècle d'observations assidues,  $H_0$  n'est toujours pas connu à mieux que 50% près. La distance  $d$  est en effet un grandeur très difficile à mesurer pour les objets lointains. Sa détermination est indirecte et, à chaque étape, les erreurs s'accumulent. Il y a aussi des effets divers, difficiles à apprécier, mais certainement pas négligeables, de sélection observationnelle, d'incomplétude des données, etc...

Le phénomène de *mirage gravitationnel* est un "jeu de la Nature" presque caricatural à cet égard. Lorsqu'il se manifeste sur une source lointaine, la plupart des données de base fournies par l'observation (position, flux, aspect de l'objet) sont complètement faussées !

Une telle situation peut sembler profondément désespérante pour qui cherche à extraire une information utilisable des photons qu'il récolte à grand peine. Mais une analyse moins sommaire révèle qu'il peut s'agir, paradoxalement, d'une véritable aubaine, permettant entre autres une mesure plus directe et plus précise de ... la constante de Hubble.

#### BREF RAPPEL HISTORIQUE.

Dès 1704, Newton s'interroge sur la possibilité d'une déviation des rayons lumineux par un corps massif. Il considère les photons comme des corpuscules soumis, au même titre que les particules matérielles, au champ de gravitation "newtonien" créé par ce corps.

La théorie de la Relativité Générale, basée sur des concepts très différents prévoit un effet analogue: le corps massif courbe l'espace autour de lui et les photons se déplacent en suivant les géodésiques de cet espace courbe. Pour la plupart des corps cé-

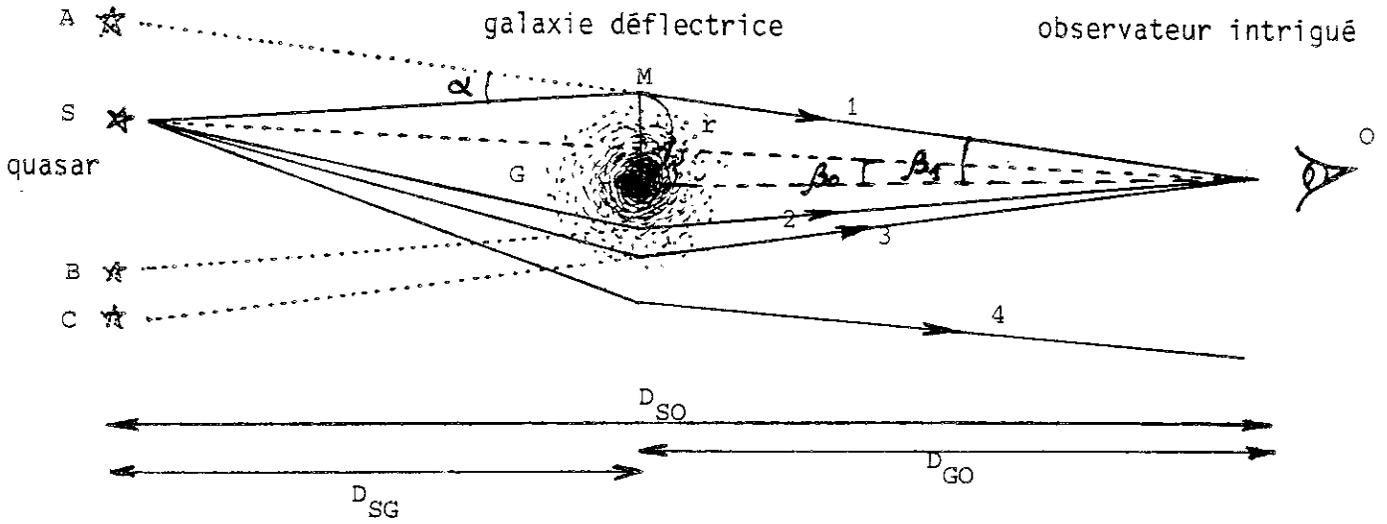


Figure 1: Principe du mirage gravitationnel.

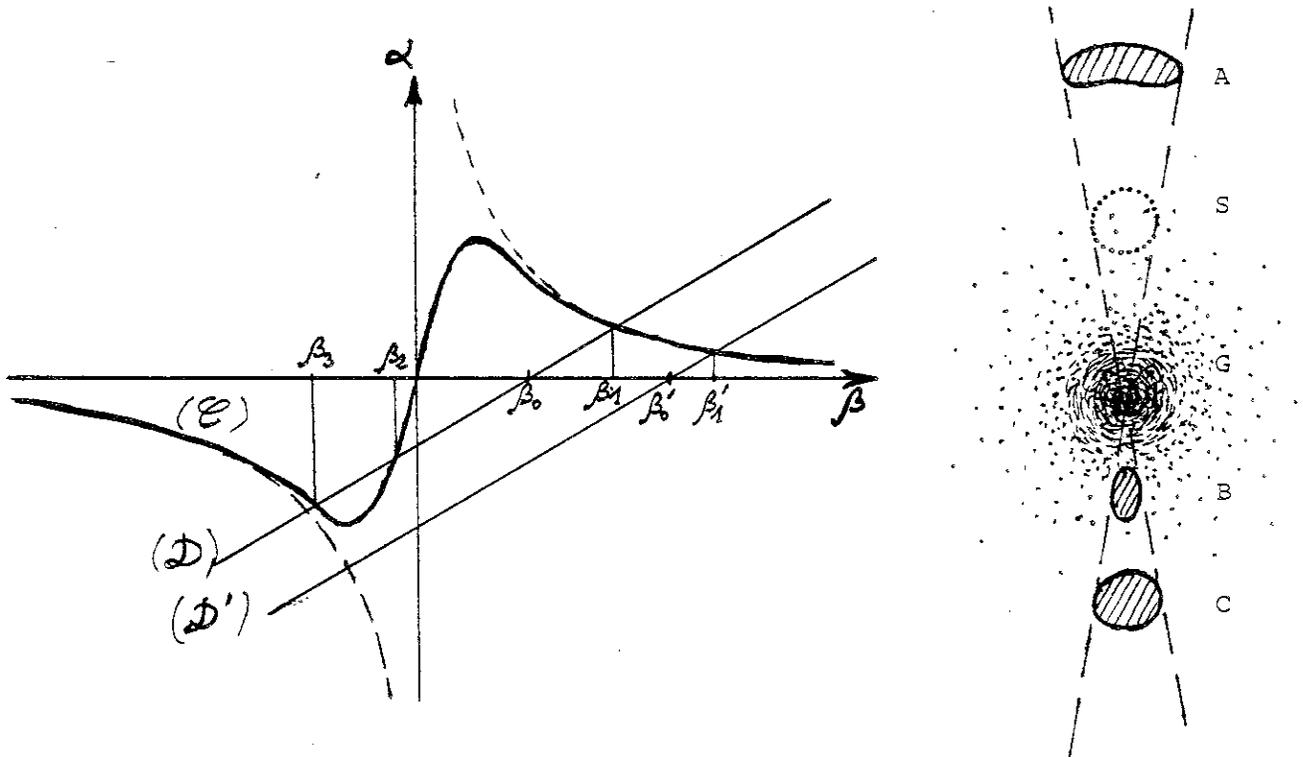


Figure 2: Positions et aspects des images sur le ciel.  
(cas d'une galaxie sphérique)

lestes, la courbure est cependant bien faible, et les trajectoires bien proches de lignes droites. On sait par exemple qu'une étoile observée au bord solaire doit être déplacée de sa position vraie d'environ 1,75". L'astronome britannique Eddington a mesuré cet effet pour la première fois lors d'une éclipse totale de Soleil en 1919. L'angle de déflexion mesuré était en bon accord avec la valeur prévue par Einstein et ce fut un grand succès pour la Relativité Générale.

Très vite, on s'aperçoit alors d'une conséquence plus étonnante de la théorie. Si le Soleil, au lieu de présenter un disque d'un demi degré de diamètre apparent, était un corps de très faible diamètre angulaire, presque une masse ponctuelle, on pourrait apercevoir deux images de la même étoile: l'une à droite et l'autre à gauche. C'est un *mirage gravitationnel*, une illusion d'optique cosmique.

En 1920, Eddington suggère que l'effet doit être observable si deux étoiles situées à des distances très différentes de l'observateur sont cependant très proches angulairement. Un programme d'observations est même lancé en 1923. L'alignement des deux étoiles doit être très bon et Einstein reste sceptique sur les chances d'observer le phénomène. En 1937 l'astronome suisse Zwicky propose de le rechercher sur des galaxies. Les masses et les distances en jeu sont beaucoup plus importantes, mais les angles de déflexion ne dépassent cependant pas quelques secondes d'arc. La même année le français Link donne une théorie assez complète des effets observables.

Le sujet des mirages gravitationnels n'est alors pas exploré davantage et conserve le rang de curiosité théorique un peu inutile jusqu'à la découverte des quasars (en 1963). Ces objets sont en effet favorables à la manifestation d'un phénomène de mirage gravitationnel: ils sont très brillants, ce qui permet de les voir très loin (et leur lumière a ainsi une bonne probabilité de passer assez près d'une galaxie massive); d'autre part ils ont un aspect ponctuel, ce qui permet de séparer les différentes images d'un mirage éventuel. L'intérêt pour le sujet est ainsi relancé.

#### LE MECANISME DES MIRAGES GRAVITATIONNELS.

Les figures 1 et 2 montrent comment on peut déterminer les positions des images dans le cas simple d'une galaxie défectrice à symétrie sphérique et d'un espace euclidien. Les rayons issus d'une source S et défléchis par une galaxie G (fig. 1) peuvent atteindre par plusieurs chemins optiques (1, 2, 3, ...) l'observateur O qui voit donc plusieurs images (A, B, C, ...) d'un même objet. Notons que ces rayons peuvent traverser la galaxie, ce qui a une conséquence quant au nombre d'images visibles, différent du cas d'un objet réflecteur opaque.

Ecrivons les conditions sur l'angle de déflexion  $\alpha$  pour qu'un rayon partant de S atteigne effectivement l'oeil de l'observateur. En évaluant AS dans les triangles AMS et AOS, nous avons:

$$\alpha = (\beta - \beta_0) D_{SO} / D_{SG}$$

qui, dans un plan  $(\alpha, \beta)$ , est l'équation d'une droite D.

Mais l'angle de déflexion est donné par la formule d'Einstein:

$$\alpha = (4G/c^2) M(r) / r = (4G/c^2) (1/D_{GO}) M(\beta) / \beta$$

(G: constante de la gravitation; c: vitesse de la lumière)  
qui, dans le plan  $(\alpha, \beta)$  est l'équation d'une certaine courbe C.

$M(\beta)$  est la masse de la galaxie contenue dans un cylindre de rayon angulaire  $\beta$  et on montre qu'avec les distributions de masse effectivement observées dans les galaxies,  $M(\beta)/\beta$  tend vers zéro quand  $\beta$  tend vers zéro. La courbe C passe donc par l'origine. Pour les grandes valeurs de  $\beta$ ,  $M(\beta)$  est la masse totale de la galaxie et C se comporte comme une hyperbole.

Les positions des images s'obtiennent, graphiquement, par l'intersection de D

et C. Si l'alignement est assez bon ( $\beta_0$  petit), on a trois solutions  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  correspondant à trois images A, B, C. Quand  $\beta_0$  est trop grand, il ne reste plus qu'une solution  $\beta_1$ , légèrement décalée de la position vraie  $\beta'_0$  de la source (on retrouve le cas de la déflexion par le Soleil).

Les images observées sont déformées par rapport à l'objet réel (fig. 2). Pour un rayon de quasar dont les dimensions apparentes sont de quelques millièmes de seconde d'arc, cette déformation est cependant indétectable dans le domaine visible.

Il y a aussi, généralement, amplification du flux reçu, c'est pourquoi on parle de *lentille gravitationnelle* pour désigner la galaxie déflextrice, par analogie avec les lentilles optiques.

Des cas singuliers se produisent quand  $D$  est juste tangente à  $C$  (les images B et C fusionnent et l'amplification est importante) et, plus encore, quand l'alignement source-déflexeur-observateur est parfait ( $\beta_0 = 0$ ). On observe alors une image faible confondue avec le centre de la galaxie, plus un anneau brillant concentrique. Le rayon de cet anneau serait d'environ 2" pour une source située à un décalage spectral  $z = 1$  et une galaxie de  $10^{12}$  masses solaires à  $z = 0,5$ . Dans ce cas, l'amplification de brillance est énorme, mais un alignement parfait a évidemment une probabilité extrêmement faible.

Pour une galaxie non sphérique, le nombre d'images peut être plus élevé. Par exemple, pour une galaxie ellipsoïdale, il y en aura 1, 3, 5 ou 7. Plus généralement, on montre que ce nombre d'images doit toujours être impair.

Les calculs sont plus compliqués dans le cas réel des espaces non euclidiens des modèles cosmologiques relativistes, mais les conclusions ci-dessus restent qualitativement valables.

#### UN OUTIL PUISSANT POUR LA COSMOLOGIE.

On voit que, sauf dans les cas dégénérés où les images fusionnent, les différents chemins optiques unissant la source à l'observateur ont des longueurs inégales.

Leur rapport peut être calculé à partir des grandeurs observables: angles, rapport de flux des images, décalages spectraux de la source et de la galaxie, distribution de masse dans celle-ci. Donc, si l'on peut déterminer la différence de trajet en valeur absolue, on a du même coup la distance de la source et, par voie de conséquence, la valeur de la constante de Hubble.

Or les quasars ont le bon goût d'être des objets de flux variable avec une échelle de temps de quelques jours ou quelques semaines et, connaissant la vitesse de la lumière, il suffira de mesurer le retard des variations d'une image par rapport à l'autre. Un ordre de grandeur typique attendu pour ce retard est de quelques mois (sur des temps de trajet de plusieurs milliards d'années !)

A vrai dire, il y a bien quelques petites complications à ce splendide scénario:

- 1) Une partie du retard sera un effet purement relativiste dû à la traversée du champ de gravitation de la galaxie. Mais celui-ci peut être assez bien connu, grâce, précisément, à la mesure des différentes images, et l'effet peut donc être corrigé.
- 2) Les galaxies sont des assemblées de plusieurs milliards d'étoiles. Si l'une d'elles est suffisamment proche du faisceau lumineux, elle peut provoquer; à elle seule, un effet de déflexion ou de dédoublement qui s'ajoute à celui de la galaxie prise dans son ensemble. C'est ce que cherchait initialement Eddington. On montre que la position

de l'image en est affectée de façon tout à fait négligeable, mais que le flux reçu peut être sensiblement amplifié. Des objets de la masse de Jupiter pourraient être détectés de cette façon, et ce, quelle que soit la distance de la galaxie ! Cet effet ne se manifesterait, cependant, que par de lentes variations des courbes de lumière (environ 10 ans) décorréliées pour les différentes images et bien distinctes des variations intrinsèques de la source.

- 3) On ne trouvera  $H_0$  qu'en faisant une hypothèse sur la courbure générale de l'Univers (ou, ce qui est équivalent, la valeur du paramètre de décélération  $q_0$ ). Mais c'est un effet du second ordre et, si on dispose de deux cas de mirages différents, on peut d'ailleurs déterminer indépendamment  $H_0$  et  $q_0$ .

Ainsi ces différentes complications sont surmontables, et la recherche des mirages gravitationnels se justifie aussi du point de vue cosmologique.

### DES QUASARS DOUBLES, TRIPLES, QUINTUPLES...

Le premier cas de mirage gravitationnel a été trouvé en 1979, année doublement anniversaire, puisque l'on fêtait le centenaire de la naissance d'Albert Einstein et que 60 ans exactement s'étaient écoulés depuis la première observation de la déflexion de la lumière par le Soleil.

Cette découverte fut le fruit du hasard. D. Walsh, R. Carswell et D. Weymann poursuivaient un programme de recherche systématique de quasars à partir d'observations radio. La méthode consiste à obtenir, par des observations optiques, le spectre des objets visibles dans la région du ciel où une source radio a été détectée. La position de cette source est connue avec une certaine marge d'erreur et il y a, généralement, plusieurs candidats à l'identification optique, dont un seul est le véritable quasar, les autres étant des étoiles de notre propre Galaxie, c'est-à-dire des astres beaucoup plus proches.

Dans le champ de la source 0957+561, il n'y avait que deux candidats possibles, de magnitude apparente presque égales (voisines de 17,5) et séparés d'environ 6". Walsh, Carswell et Weymann commencèrent-ils par observer l'objet situé le plus au Nord ou celui situé le plus au Sud ? La petite histoire ne le dit pas, mais il est certain que le premier spectre obtenu montrait des raies larges en émission du Carbone 2 fois et trois fois ionisé, avec un décalage spectral relatif  $z = 1,41$ . Il s'agissait donc d'un quasar typique et, l'identification étant acquise, il pouvait sembler superflu d'observer le deuxième objet.

Mais nos astronomes étaient consciencieux (ils le sont presque tous !). Quelle ne fut pas leur surprise en constatant que le spectre du deuxième objet était identique au premier ! Pour parer au plus pressé, on décida d'appeler 0957+561A l'objet Nord et 0957+561B l'objet Sud. Mais quelle était la bonne identification de la radiosource ? Et s'agissait-il vraiment de deux objets distincts ou bien du premier cas connu de mirage gravitationnel ? La question se posait d'emblée car, déjà, les spectres des deux objets étaient plus semblables entre eux que ceux de n'importe quel couple de quasars choisis parmi les quelques 1500 connus à l'époque.

Néanmoins, la position la plus prudente était de les considérer comme deux objets distincts mais voisins dans l'espace, leur séparation correspondant alors à environ 200 000 années de lumière, soit à peine plus que le diamètre d'une grande galaxie. Dans cette hypothèse, ils auraient une origine commune, ce qui expliquerait jusqu'à un certain point les similitudes de leurs spectres, et l'on pourrait parler d'un véritable quasar double, de même qu'il existe des systèmes binaires d'étoiles.

Même en adoptant cette explication; on se serait trouvé là en présence d'un système tout à fait singulier. Mais les observations ultérieures devaient, en quelques semaines, donner la certitude qu'il s'agit bel et bien d'un mirage gravitationnel.

D'abord, on a découvert dans les spectres de l'objet A et de l'objet B des raies d'absorption étroites, trahissant la présence de gaz froid entre le quasar et nous. Ces raies sont semblables pour A et B, tant du point de vue de leurs intensités relatives et de leurs largeurs que de leurs décalages ( $z = 1,391$ ). Les meilleures mesures, obtenues à l'aide du télescope à miroirs multiples du Mont Hopkins, dans l'Arizona, donnent des décalages spectraux égaux à mieux que 10 km /s près (sur plus de 210 000 km /s).

Une telle similitude commençait à poser des problèmes dans l'hypothèse de deux objets distincts. La matière absorbante peut avoir plusieurs origines. Elle peut être éjectée violemment par le quasar ou bien être contenue dans des nuages, soit isolés dans l'espace, soit liés au halo d'une galaxie. Dans la première hypothèse, une éjection isotrope unique aurait du porter sur une quantité de matière énorme et l'énergie nécessaire à cette éjection devenait absurde. Dans les deux autres cas, ou bien si l'on suppose 2 éjections indépendantes, il aurait fallu un hasard exceptionnel pour que la vitesse de la matière absorbante soit exactement la même en deux points séparés par 200 000 années de lumière.

Le quasar "double" cessait d'être observable dans le visible après le mois de juin, car il devenait angulairement trop proche du Soleil. Les radioastronomes pouvaient cependant continuer leurs observations (la déviation du rayonnement électromagnétique par la gravitation étant indépendante de la longueur d'onde, un mirage gravitationnel se manifeste aussi bien en radio que dans le domaine visible). Le "Very Large Array" (V.L.A.) venait tout juste d'être mis en service au Nouveau Mexique. C'est un ensemble de 27 antennes mobiles de 25 mètres de diamètre chacune, pouvant s'écarter au maximum de près de 30 km. En combinant les signaux des différentes antennes dans différentes configurations, on obtient, par *synthèse d'ouverture*, la même résolution angulaire qu'avec un radiotélescope unique de 30 km de diamètre, c'est-à-dire une résolution comparable à celle des meilleurs télescopes optiques.

La carte radio obtenue avec le V.L.A. montrait bien deux sources punctuelles, aux mêmes positions et avec le même rapport de flux qu'en optique, mais elle comportait aussi des extensions au voisinage de l'image A qui ne se retrouvaient pas au voisinage de B. Ce fait, d'abord considéré comme contraire à l'interprétation d'un quasar double par mirage gravitationnel, s'explique fort bien: la composante radio compacte, qui coïncide avec l'objet optique, est assez proche, angulairement, de la galaxie défléctrice pour qu'il se forme 3 images; mais pour les extensions radio, l'alignement est trop mauvais et il n'y a plus qu'une seule image de ces extensions (cf. fig. 2 et discussion correspondante). Pour confirmer l'hypothèse du mirage gravitationnel, il restait à trouver la troisième image et la galaxie défléctrice. Les cartes radio du V.L.A. indiquaient que l'une et l'autre devaient être recherchées près de l'image B.

En Novembre 1979, l'observation optique redevenant possible, la galaxie défléctrice était détectée, presque simultanément, par P. Young (avec le télescope de 5 mètres du Mont Palomar) et par A. Stockton (avec le télescope de 2 mètres de Mauna Kēa à Hawaï). Cette galaxie est très proche de l'image B (à environ 1") et nettement plus faible que chacune des deux images du quasar. Il s'agit pourtant d'une galaxie elliptique géante, dont Young mesura le décalage spectral  $z = 0,36$ .

Young montra aussi que cette galaxie fait partie d'un amas dont il faut tenir compte dans un modèle complet. L'action du champ de gravitation de cet amas, étendu mais de faible gradient, est de modifier sensiblement la position des images, sans intervenir pour leur amplification (c'est une situation exactement inverse de celle des étoiles de la galaxie défléctrice principale). Dans ces conditions la troisième image devait être très faible (magnitude 21) et pratiquement confondue avec le centre de la galaxie défléctrice. Depuis, elle a été effectivement détectée en radio. L'interprétation du quasar double en terme de mirage gravitationnel ne faisait plus aucun doute. D'ailleurs toutes les observations venaient confirmer l'identité complète des propriétés des images A et B: spectre infra-rouge, deuxième système de raies d'absorption à  $z = 1,125$ , structure fine des images à l'échelle du millième de seconde d'arc, par in-

terférométrie radio intercontinentale ("Very Long Baseline Interferometry" ou "V.L.B.I.") etc...

Les observations s'orientaient donc, désormais, vers l'utilisation du phénomène pour déterminer  $H_0$ , comme il a été dit plus haut. On a pu montrer que les images A et B sont légèrement variables. Il faudra donc réaliser une surveillance régulière, avec un grand télescope et pendant une longue durée, car le décalage temporel prévu est de cinq ans pour une valeur de  $H_0$  de 60 km /s/Mpc. Pour résoudre entièrement le problème, il conviendra, en outre, de connaître les variations de la troisième image et la distribution de masse dans la galaxie déflectrice, ce qui nécessite une résolution spatiale de l'ordre de 0,1", impossible à obtenir au sol. Pour s'affranchir de la turbulence atmosphérique, qui limite cette résolution, on compte sur le Télescope Spatial qui doit être lancé vers 1985.

Un an après le premier mirage gravitationnel, un second était découvert, là encore par hasard.

P.G. 1115+080 (tel est son nom) est un objet sélectionné par ses indices de couleur au cours d'une recherche systématique de quasars brillants. Sa magnitude apparente est 15,8. En voulant en prendre le spectre pour confirmer qu'il s'agissait bien d'un quasar et déterminer son décalage spectral, on s'aperçut, sur l'écran de télévision du système de pointage du télescope, que l'objet était triple, la séparation des trois composantes étant d'environ 2". Leurs spectres sont identiques à la précision des mesures près, avec un décalage spectral  $z = 1,73$ .

Avec la découverte du premier mirage gravitationnel, un seuil psychologique avait été franchi, et le second cas fut accepté rapidement comme tel. Le modèle le plus plausible prévoit que la galaxie est une spirale vue par la tranche. Elle produit alors 5 images, la plus brillante observée étant une double serrée. Ceci a été confirmé par la technique d'interférométrie des tavelures, la séparation trouvée étant de 0,54". Quatre images ont donc été mesurées sur cet objet quintuple. La cinquième image, elle, doit être faible et n'a pas encore été détectée, non plus que la galaxie déflectrice. La radioastronomie n'est, dans ce cas, d'aucun secours car P.G.1115+080 est indétectable en radio.

Pour une étude plus complète, il faudra attendre la mise en service du Télescope Spatial. Ce second mirage pourrait se révéler alors encore plus intéressant que le premier. Avec 5 images l'information est redondante et, les spirales étant généralement des galaxies isolées (ou appartenant à des groupes pauvres), le champ de gravitation produisant le mirage est probablement plus simple que dans le cas de 0957+561.

Enfin, en 1981 un troisième candidat a été trouvé, toujours par hasard, lors d'une surveillance menée au télescope franco-canadien de Hawaï (C.F.H.) pour rechercher de nouveaux quasars. Les deux images observées sont faibles (magnitudes 19,5 et 21), bien séparées (7,15") et ont le même décalage spectral ( $z = 2,15$ ). La galaxie déflectrice n'a pas été détectée; elle est probablement très éloignée, si elle existe. Etant donnée la faiblesse des images observées, les spectres ne peuvent pas être mesurés avec une très grande précision. Il n'est donc pas exclu qu'il s'agisse, cette fois, réellement de deux objets distincts, d'un vrai "quasar double". Des observations dans d'autres domaines de longueur d'onde (radio, infra-rouge...) devraient permettre, comme ce fut le cas pour 0957+561, de trancher cette question.

#### COMBIEN DE MIRAGES DANS LE CIEL ?

La découverte des mirages gravitationnels et le succès exceptionnel de leur étude en quelques mois résultent de la conjugaison de 3 facteurs:

- 1- une théorie bien élaborée dont les prémisses datent de 60 ans.
- 2- la découverte (elle, totalement imprévue) d'une classe d'objets se prêtant

idéalement à la manifestation du phénomène: les quasars.

3- la maturité des moyens d'observation.

Le premier mirage aurait fort bien pu être découvert il y a 10 ans et il est un peu démoralisant de constater que les trois cas connus ont été découverts lors de programmes d'observations qui n'étaient pas spécialement destinés à cela. On peut remarquer aussi qu'ils ont été trouvés parmi les quasars nouvellement découverts depuis 1979; soit peut-être 500 objets. N'y en a-t-il vraiment aucun parmi les 1 500 quasars antérieurement connus ? Des cas aussi spectaculaires que celui de O957+561, dont les images sont bien séparées et presque égales, ou que celui de P.G. 1115+080, très brillant, ne s'y trouvent probablement pas. Mais on s'attend à de nombreux cas provoqués par des galaxies de masses moyennes (10 à 100 milliards de masses solaires), conduisant à des séparations de 1" à 2" entre les images de quasars lointains.

Les critères de sélection disponibles sont réduits: un mirage gravitationnel multiplie les images et les amplifie. On devra donc prendre des clichés avec la meilleure résolution possible des quasars lointains (la probabilité qu'une galaxie soit sur la ligne de visée est proportionnelle à la distance du quasar), en commençant par ceux qui, pour cette distance, sont un peu "trop" brillants. Ce dernier critère n'est pas très efficace, car il y a une grande dispersion naturelle dans les luminosités intrinsèques des quasars. Sur ces bases, plusieurs équipes entreprennent de réobserver systématiquement les quasars déjà catalogués, sans succès jusqu'ici, mais non sans espoir. Les mirages gravitationnels constituant un outil remarquable, non seulement pour déterminer  $H_0$ , mais aussi bon nombre d'autres paramètres importants en Astrophysique (masses des galaxies etc...), l'augmentation du nombre de cas connus est en effet un objectif prioritaire pour les observateurs.

Christian Vanderriest

FORMATION CONTINUEE DES MAITRES - STAGE D'ASTRONOMIE

Le service de la formation Continuee des Maîtres de Sciences Physiques de l'Université Paris-Sud organise du 1er Décembre 1982 au 26 Janvier 1983 un stage d'Astronomie. Ce stage est non seulement en relation avec les programmes d'Astronomie des classes de 4ème et de 1ère A et B, mais il a également pour but de montrer comment des exemples astronomiques peuvent servir à illustrer certaines notions de physique fondamentale.

Le stage se déroulera au Centre Scientifique d'Orsay (station RER : Orsay) pendant 6 séances de 3 heures à raison d'une séance par semaine, le mercredi après-midi de 14 heures à 17 heures.

Il débutera le mercredi 1er Décembre 1982 et se terminera le mercredi 26 janvier 1983. Les trois premières séances seront consacrées à des travaux sur document astronomique, par groupes d'une dizaine. Les séances suivantes seront consacrées à la réalisation d'un projet choisi parmi: construction d'un cadran solaire, d'une carte céleste mobile, d'une lunette simple, d'un planétaire, d'un spectroscopie simple... Ces travaux pratiques nécessitent peu de matériel et peuvent facilement être réalisés avec un club ou une classe.

Chaque groupe sera encadré par un enseignant universitaire astronome.

Tous les participants recevront une documentation sur l'ensemble des thèmes ainsi qu'une bibliographie. Ils auront accès à une bibliothèque, à un petit atelier et à un laboratoire photographique. Le stage est gratuit.

Les demandes d'inscription à ce stage ou de renseignement sont à adresser à:  
Melle L. Gouguenheim Université de Paris-Sud Centre Scientifique d'Orsay  
Laboratoire d'Astronomie Batiment 426 91405 ORSAY CEDEX

Merci de joindre une enveloppe timbrée pour la réponse.